

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

**VINICIUS DA SILVA DUARTE**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL**  
**PARA ANÁLISE DO SINAL DE SOLDA EM**  
**SOLDAGENS MIG/MAG POR CURTO-CIRCUITO**

**JUIZ DE FORA**

**2017**

**VINICIUS DA SILVA DUARTE**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL**

**PARA ANÁLISE DO SINAL DE SOLDA EM**

**SOLDAGENS MIG/MAG POR CURTO-CIRCUITO**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr., Moisés Luiz Lagares Júnior

**JUIZ DE FORA**

**2017**

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Duarte, Vinicius da Silva.

Desenvolvimento de ferramenta computacional para análise do sinal de solda em soldagens mig/mag por curto-circuito / Vinicius da Silva Duarte. -- 2017.

43 f.

Orientador: Moisés Luiz Lagares Júnior

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2017.

1. Critério laprosolda. 2. Estabilidade GMAW. 3. Curto-circuito. I. Júnior, Moisés Luiz Lagares, orient. II. Título.

**VINICIUS DA SILVA DUARTE**

**DESENVOLVIMENTO DE FERRAMENTA COMPUTACIONAL**

**PARA ANÁLISE DO SINAL DE SOLDA EM**

**SOLDAGENS MIG/MAG POR CURTO-CIRCUITO**

Trabalho Final de Curso apresentado ao Colegiado de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheira Mecânica.

Aprovada em 7 de Novembro de 2017

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dr., Moisés Luiz Lagares Júnior (Orientador)

Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Prof. Dr., Raphael Fortes Marcomini

Universidade Federal de Juiz de Fora

---

Eng. Gabriel Mendes Cordeiro

Universidade Federal de Juiz de Fora

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a meu pai, José Virgínio, minha mãe, Lena, e meu irmão, Danilo, que estiveram sempre presentes me apoiando e me dando forças para que eu continuasse na luta durante essa etapa da minha vida.

Muito obrigado a Paola, por ter estado ao meu lado durante esse momento, me dando o apoio moral necessário e tornando essa caminhada muito mais leve.

À minha prima Fernanda, que me apoiou e ajudou no começo deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos aqueles que contribuíram de alguma forma para minha formação acadêmica, profissional e pessoal até o momento. Sendo eles professores, colegas de trabalho e amigos de curso que fizeram parte de forma direta ou indireta da minha formação.

## RESUMO

A qualidade do cordão de solda produzido pelo processo GMAW na transferência metálica por curto-circuito está intimamente relacionada à estabilidade do arco elétrico. Busca-se o desenvolvimento de métodos estatísticos que se apoiem em indicadores numéricos como forma de avaliar a estabilidade da soldagem com essas características. O estudo da regularidade da transferência metálica em processos de soldagem por curto-circuito já vem sendo realizado pelo monitoramento dos sinais elétricos fazendo-se uso do Índice de Regularidade Vilarinho (IVcc), metodologia criada no Laprosolda/UFU. Este trabalho apresenta uma proposta de uma ferramenta para análise de sinal de solda em soldagens MIG/MAG por curto-circuito, trazendo informações que refletem a estabilidade ou instabilidade do arco elétrico, sendo elas: IVcc, IVcc sem curtos incipientes, número de curtos incipientes, frequência de curto-circuito e frequência de curto-circuito sem curtos incipientes.

**Palavras-chave:** MIG/MAG, Laprosolda, curto-circuito;

## ABSTRACT

The quality of the weld bead produced by the GMAW process in the metallic transfer by short circuit is closely related to the stability of the electric arc. We are looking for the development of statistical methods that rely on numerical indicators as a way to evaluate the stability of welding with these characteristics. The study of the regularity of the metallic transfer in short-circuit welding processes has already been carried out by monitoring the electrical signals using the Vilarinho Regularity Index (IVcc), a methodology created at Laprosolda / UFU. This work presents a proposal for a tool for analysis of welding signal in MIG / MAG welding by short circuit, bringing information that reflects the stability or instability of the electric arc, being: IVcc, IVcc without incipient short circuits, number of short incipient, short-circuit frequency and short-circuit frequency without incipient short circuits.

**Keywords:** GMAW, Laprosolda, short circuit.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Processo básico de soldagem MIG/MAG.....	16
<b>Figura 2</b>	Modos de transferência metálica.....	18
<b>Figura 3</b>	Fotografias sequenciais da transferência por curto-circuito.....	19
<b>Figura 4</b>	Fotografias sequenciais da transferência Globular.....	20
<b>Figura 5</b>	Fotografias sequenciais da transferência Aerossol/Spray.....	22
<b>Figura 6</b>	Fluxograma para variáveis com curtos-circuitos incipientes.....	27
<b>Figura 7</b>	Fluxograma para variáveis sem curtos-circuitos incipientes.....	28
<b>Figura 8</b>	Visão geral da ferramenta.....	30
<b>Figura 9</b>	Visualização das variáveis totais e dinâmicas.....	30
<b>Figura 10</b>	Visão geral da ferramenta segmentada.....	31
<b>Figura 11</b>	Visão da ferramenta no zoom máximo.....	32
<b>Figura 12</b>	Visão da ferramenta no zoom mínimo.....	33
<b>Figura 13</b>	Tela da ferramenta para solda utilizando Argônio em 4 L/min.....	35
<b>Figura 14</b>	Relatório do equipamento de aquisição de dados <sup>1</sup> .....	36
<b>Figura 15</b>	Relatório do equipamento de aquisição de dados <sup>2</sup> .....	37
<b>Figura 16</b>	Arquivo com o sinal de solda dentro da pasta da ferramenta.....	38

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1</b>	Faixa ótima de corrente para vários diâmetros de arame.....	19
<b>Tabela 2</b>	Corrente mínima para a soldagem por aerossol.....	21
<b>Tabela 3</b>	Frequências de curto-circuito com e sem curtos incipientes <sup>1</sup> .....	31
<b>Tabela 4</b>	Frequências de curto-circuito com e sem curtos incipientes <sup>1</sup> .....	34
<b>Tabela 5</b>	Diferença entre o resultado obtido e o trabalho de Cordeiro.....	34

## **LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS**

**AWS** - American Welding Society

**CC** - Corrente Contínua

**GMAW** – Gas Metal Arc Welding

**MAG** - Metal Active Gas

**MIG** - Metal Inert Gas

**IVcc** – Índice Vilarinho de Regularidade da Transferência por Curto-Circuito

**c.c.i.** – Curtos-circuitos incipientes

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	13
1.2. OBJETIVOS .....	14
1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....	14
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>15</b>
2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM .....	15
2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG .....	15
2.3 GASES DE PROTEÇÃO .....	16
2.4 MODOS DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA .....	17
2.4.1 Transferência curto-circuito .....	18
2.4.2 Transferência globular .....	19
2.4.3 Transferência aerossol/spray .....	20
2.5 INSTABILIDADE DO ARCO.....	22
2.6 CRITÉRIO LAPROSOLDA .....	23
<b>3. METODOLOGIA.....</b>	<b>26</b>
3.1 ESCOLHA DA PLATAFORMA DE PROGRAMAÇÃO .....	26
3.2 DEFINIÇÃO DO ALGORITMO.....	26
3.3 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA .....	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>30</b>
4.1 APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA .....	30
4.2 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA .....	33
4.3 DISCUSSÕES .....	36
4.3.1 Imprecisão nos dados .....	36
4.3.2 Entrada de dados .....	37

<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>39</b>
5.1 CONCLUSÕES.....	39
5.2 TRABALHOS FUTUROS .....	39
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>40</b>
<b>ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE .....</b>	<b>43</b>

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Na soldagem ao arco elétrico com gás de proteção MIG/MAG um arco elétrico é estabelecido entre a peça e um consumível na forma de arame. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo (Fortes, 2005).

O processo MIG/MAG é um dos processos de soldagem mais utilizados na indústria atualmente devido a diversas vantagens como a possibilidade de solda em várias posições, elevada produtividade, compatível com as principais ligas da indústria, possibilidade de automação e baixa geração de escória.

Um dos modos de transferência mais utilizados neste processo é o da soldagem por curto-circuito. Com ele, a transferência de metal se dá basicamente por tensão superficial, quando a gota toca o metal líquido da poça. Este modo de transferência produz uma poça de fusão relativamente pequena, de rápida solidificação, sendo indicado para soldagem de seções finas ou soldagens fora da posição plana.

Com finalidade de facilitar a realização das soldagens e, em consequência, a estimação da qualidade de solda, pesquisadores sempre procuram quantificar os fatores que influenciam na estabilidade do processo de soldagem. Sendo a estabilidade do processo de soldagem MIG/MAG avaliada por três fatores: estabilidade do arco, regularidade da transferência metálica e comportamento operacional do processo de soldagem, os quais se relacionam de forma muito próxima e complicada.

Desta maneira, surgiu-se a necessidade de desenvolvimento de índices, que vão indicar estabilidade/instabilidade de ocorrência dos fenômenos indicados anteriormente. Até hoje, vários trabalhos foram feitos nessa área e, normalmente, eles são baseados nas análises estatísticas das curvas de tensão do arco e da corrente elétrica utilizada no processo, sendo alguns deles voltados para a redução da geração de respingos, através da melhoria da estabilidade de curtos-circuitos pela correta regulagem dos parâmetros de soldagem.

## 1.2. OBJETIVOS

Neste trabalho objetiva-se a criação de uma ferramenta gráfica e interativa de análises de sinais de solda MIG/MAG em transferências por curto-circuito que permita a visualização de diferentes intervalos de tempo em qualquer parte do sinal e apresente indicadores que indiquem a estabilidade do processo em todo o sinal de solda e no sinal visualizado. Dessa maneira auxiliando nas análises feitas em laboratório e em novos estudos sobre o tema.

## 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho encontra-se estruturado em cinco capítulos. No capítulo 1 é apresentado a contextualização e relevância do tema, assim como os objetivos do mesmo. O capítulo 2 é dedicado a uma revisão bibliográfica que discute conceitos básicos sobre soldagens MIG/MAG e alguns critérios utilizados no trabalho.

No capítulo 3 é apresentada a metodologia de pesquisa utilizada, sendo descritas as etapas do trabalho, sendo elas a escolha da plataforma de programação, a definição do algoritmo da ferramenta e a validação da mesma.

No capítulo 4 os resultados são apresentados e analisados, assim como, algumas discussões relevantes levantadas. Por fim, no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais, que destacam as contribuições deste trabalho e sugerem-se estudos futuros.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 DEFINIÇÃO DE SOLDAGEM**

A soldagem é um processo de junção permanente de dois materiais (geralmente metais) através de coalescência resultante de uma combinação adequada de temperatura, pressão e condições metalúrgicas (KHAN, 2007). A junção acontece quando os átomos da borda da outra peça estão próximos o suficiente para que haja interação entre seus átomos (AWS, 2001).

Variações da combinação entre temperatura e pressão desenvolveram uma ampla gama de processos de soldagem, dentre elas, o processo MIG/MAG (MIG – Metal Inert Gas e MAG – Metal Active Gas) no item seguinte (KHAN, 2007).

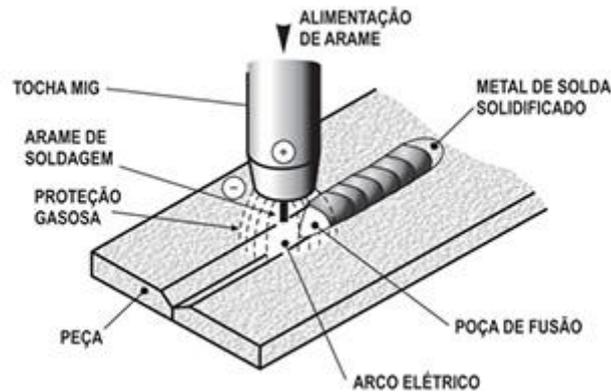
### **2.2 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG**

Muitas vezes, na indústria, é necessário reduzir o custo de produção de um artigo, e uma alternativa é reduzir o tempo de operação. Para este fim, o processo por soldagem MIG/MAG tem sido muito utilizado pela sua alta produtividade (SUBAN e TUSEK, 2001).

Também conhecida como GMAW – (Gas Metal Arc Welding), ou seja, soldagem ao arco elétrico com gás de proteção, MIG/MAG, é um processo de soldagem a arco que usa um arco entre um arame-eletrodo de alimentação contínua e uma poça de fusão. O arco funde continuamente o arame à medida que este é alimentado à poça de fusão. O metal de solda é protegido da atmosfera pelo fluxo de um gás (ou mistura de gases) inerte ou ativo (SOUZA, RESENDE e SCOTTI, 2009).

A diferença entre MIG/MAG consiste no gás utilizado. O processo Metal Inert Gas (MIG), utiliza gás ou mistura de gases inertes no processo de soldagem, já o processo Metal Active Gas (MAG), não utiliza gás inerte, mas sim gases ou misturas ativas (OKUMURA e TANIGUCHI, 1982). A Figura 1 mostra esse processo e uma parte da tocha de soldagem.

Figura 1 - Processo básico de soldagem MIG/MAG



Fonte: FORTES, 2005

O processo de soldagem funciona com corrente contínua (CC), normalmente com o arame no polo positivo. Essa configuração é conhecida como polaridade reversa. De acordo com Fortes (2005) a polaridade direta é raramente utilizada por causa da transferência deficiente do metal fundido do arame de solda para a peça. São comumente empregadas correntes de soldagem de 50 A até mais que 600 A e tensões de soldagem de 15 V até 32 V.

A definição é simples, porém, existem inúmeros fatores que afetam o processo, como por exemplo as composições químicas dos materiais e dos gases de proteção, esses fatores afetam diretamente as propriedades mecânicas e metalúrgicas do metal da solda e os modos de transferência metálica (SOUZA, RESENDE e SCOTTI, 2009).

Melhorias contínuas tornaram o processo MIG/MAG aplicável à soldagem de todos os metais comercialmente importantes como os aços, o alumínio, aços inoxidáveis, cobre e vários outros. Materiais com espessura acima de 0,76 mm podem ser soldados praticamente em todas as posições. É simples escolher equipamento, arame, gás de proteção e condições de soldagem capazes de produzir soldas de alta qualidade com baixo custo (FORTES, 2005).

### 2.3 GASES DE PROTEÇÃO

Vários tipos de gases de proteção podem ser utilizados, incluindo um único componente ou até quatro componentes de gases. A função da proteção gasosa é excluir a atmosfera do contato com o metal de solda fundido. Essa proteção é necessária pela tendência, da maioria dos metais, de formar óxidos, e nitritos em menor proporção, quando aquecidos até seu ponto de fusão no ar (SUBAN e TUSEK, 2001). De acordo com Cabral e Junior (2008), o gás de

proteção é alimentado por um sistema adequado através do bocal da pistola de soldagem, para devida proteção do arame, o arco e a poça de fusão.

Conforme a ISO 14175, os gases listados como de proteção são: Hidrogênio ( $H_2$ ), Oxigênio ( $O_2$ ), Dióxido de Carbono ( $CO_2$ ), Nitrogênio ( $N_2$ ), Hélio (He) e Argônio (Ar). Os mesmo têm como principal função proteger a solda de elementos que a prejudiquem, sendo estes principalmente o Nitrogênio ( $N_2$ ), Oxigênio ( $O_2$ ) e vapor d'água ( $H_2O$ ) presentes no ar atmosférico (FORTES, 2005).

Segundo Kah e Mvola (2016) além de proteger a solda de outros elementos, a soldagem também afeta significativamente a forma e a geometria da solda, propriedades metalúrgicas e mecânicas, velocidade de soldagem, transferência de metal e estabilidade do arco. Sendo assim, a escolha do gás de proteção é um fator crucial para determinar as propriedades da solda e a eficiência da mesma.

Conforme Schio (2013) no processo MIG, onde há a adição de gases de proteção inertes, os principais gases ou misturas são:

- Argônio
- Hélio
- Argônio + 1% de  $O_2$
- Argônio + 3% de  $O_2$
- Argônio + (até) 15% de  $CO_2$

Com relação aos principais gases utilizados no processo MAG, onde os gases ou misturas são ativos, temos:

- $CO_2$
- $CO_2$  + 5 a 10% de  $O_2$
- Argônio + 15 a 30% de  $CO_2$
- Argônio + 5 a 30% de  $O_2$
- Argônio + 25 a 30% de  $N_2$

## 2.4 MODOS DE TRANSFERÊNCIA METÁLICA

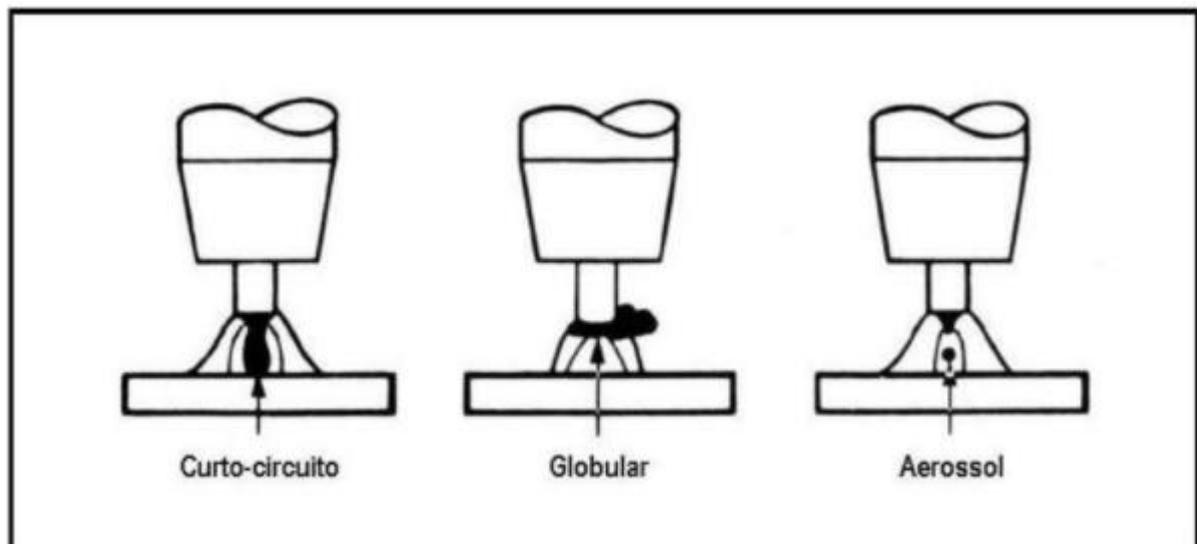
O que determinará o tipo de transferência metálica serão os parâmetros elétricos do arco, sendo eles, o tipo e valor da corrente, a tensão, a polaridade, o diâmetro e composição do metal

de adição, o tipo e composição do meio de proteção, o comprimento energizado do eletrodo e a pressão atmosférica (JÚNIOR, 2003).

O comportamento da transferência metálica é de suma importância na soldagem, para Subramanian et al. (1998), ela afeta a habilidade de soldagem em várias posições, no grau de penetração, na estabilidade da poça de solda e na quantidade perdida através de respingos.

Como descrito em Cabral e Junior (2008), o processo GMAW dispõe de 3 técnicas mais comuns de transferência metálica, sendo elas o curto-circuito, globular e aerossol, conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2. Modos de transferência metálica

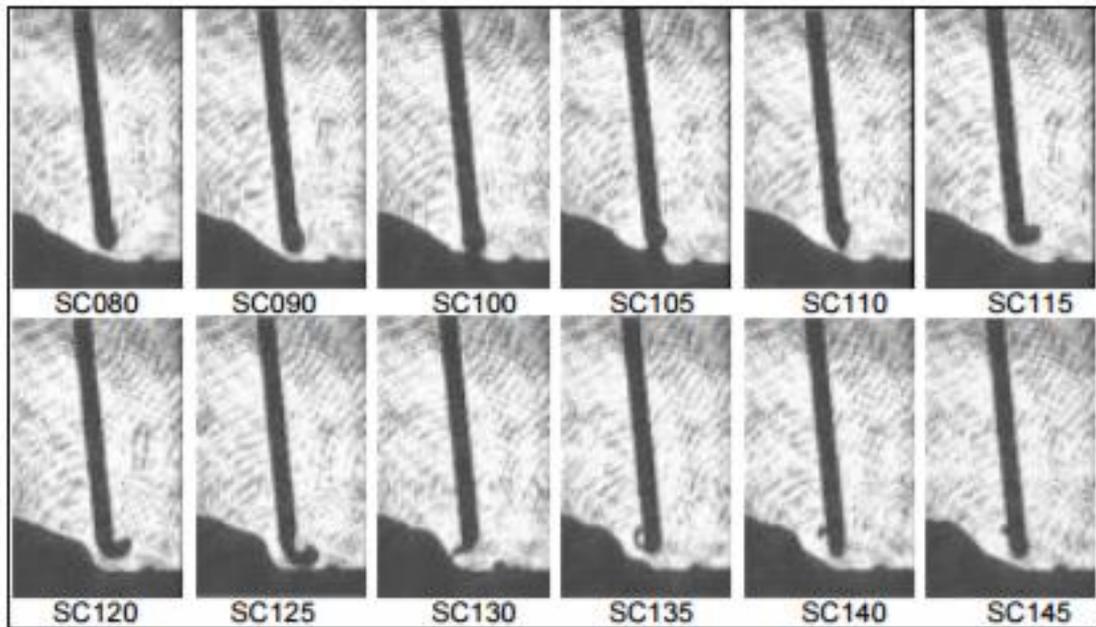


Fonte: FORTES (2005)

#### 2.4.1 Transferência curto-circuito

Gomes (2006) caracteriza a transferência por curto-circuito como tendo parâmetros de tensões baixas e correntes não muito elevadas, diâmetros de eletrodos menores que são usualmente limitados para arames de até 1,2 mm de diâmetro. As gotas de metal formadas na transferência são pequenas e de tamanho próximo ao diâmetro do eletrodo, sendo seu toque, periódico e numa média de cem vezes por segundo, conforme pode ser visto na Figura 3 (UTTRACHI e MEYER, 1993).

Figura 3. Fotografias sequenciais da transferência por curto-circuito



Fonte: FERRARESI, Figueiredo e Hiap Ong, 2003

Este modo de transferência também é caracterizado por grande instabilidade, podendo apresentar formação intensa de respingos. Um gás de proteção adequado e equipamentos com especificações apropriadas se fazem necessários para que a transferência ocorra de maneira estável e controlada (MORGANTI, 2013). A faixa ótima de corrente de soldagem para que haja uma solda mais estável pode ser observada na Tabela 1.

Tabela 1. Faixa ótima de corrente para vários diâmetros de arame

Diâmetro do arame		Corrente de soldagem (A)	
pol (")	mm	Mínima	Máxima
0,030	0,76	50	150
0,035	0,89	75	175
0,045	1,10	100	225

Fonte: FORTES (2005)

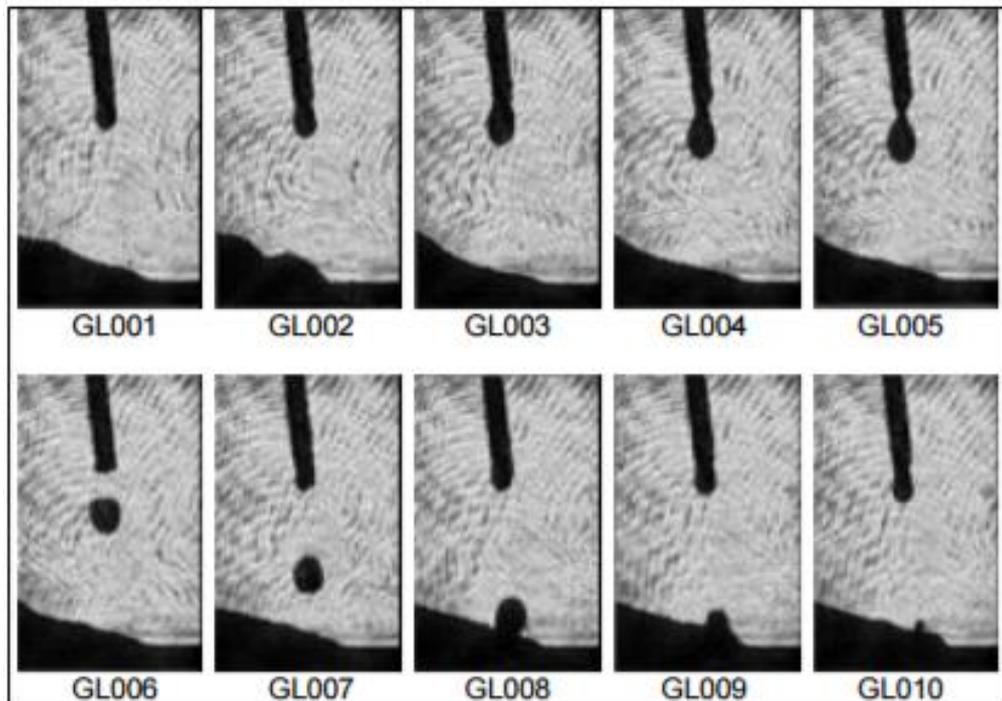
#### 2.4.2 Transferência globular

Quando a corrente e a tensão de soldagem se encontram acima do máximo recomendado para a soldagem por curto-circuito, a transferência de metal começará a tomar uma forma diferente, passará de uma transferência de curto-circuito para uma transferência globular, onde

o metal se transfere através do arco. De acordo com Fortes (2005) as gotas de metal fundido na maioria das vezes possuem diâmetro maior que o do próprio arame.

Conforme Cabral e Junior (2008), a transferência globular se restringe, normalmente, à posição plana pelo fato da força gravitacional ser dominante, de maneira que para soldagem fora de posição a gota pode não atingir a poça de fusão adequadamente. Podemos observar na Figura 4 como ocorre a transferência globular.

Figura 4. Fotografias sequenciais da transferência Globular.



Fonte: FERRARESI, FIGUEIREDO e HIAP ONG, 2003

### 2.4.3 Transferência aerossol/spray

Ao aumentarmos ainda mais a corrente, para a chamada corrente de transição, passamos de uma transferência globular para uma transferência por spray, havendo uma diminuição do diâmetro médio das gotas. A Tabela 2 mostra valores típicos de correntes de transição para diferentes valores de corrente de transição, para vários metais de adição e gases de proteção.

Tabela 2. Corrente mínima para a soldagem por aerossol.

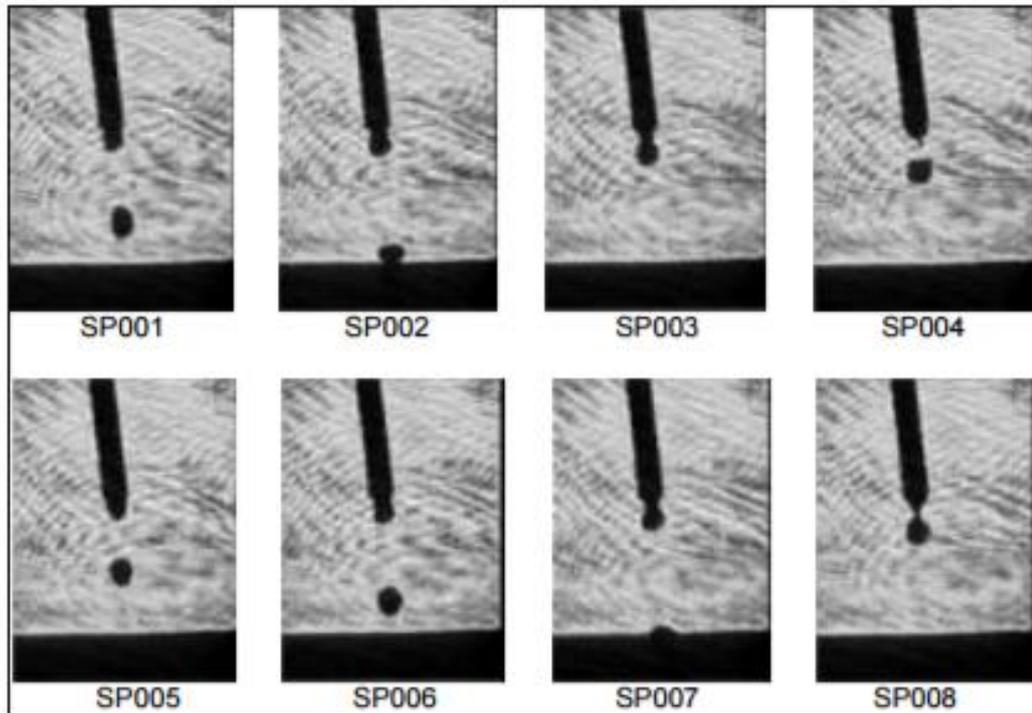
Tipo de arame	Diâmetro do arame		Gás de proteção	Corrente mínima de aerossol (A)
	pol (")	mm		
Aço Carbono	0,030	0,76	98% Ar/ 2% O <sub>2</sub>	150
	0,035	0,89		165
	0,045	1,10		220
	0,052	1,30		240
	0,062	1,60		275
Aço Inoxidável	0,035	0,89	98% Ar/ 1% O <sub>2</sub>	170
	0,045	1,10		225
	0,062	1,60		285
Alumínio	0,030	0,76	Argônio	95
	0,046	1,19		135
	0,062	1,60		180
Cobre desoxidado	0,035	0,89	Argônio	180
	0,045	1,10		210
	0,062	1,60		310
Bronze ao silício	0,035	0,89	Argônio	165
	0,045	1,10		205
	0,062	1,60		270

Fonte: FORTES, 2005

Segundo Gomes (2013), essa deposição é caracterizada pela grande quantidade de pequenas gotas, a alta frequência, formando quase um jato contínuo. Devido as altas correntes e tensões, essas gotas são depositadas com alta energia e fazem com que a poça de fusão seja bastante fluida, limitando-o a posição plana e horizontal.

A soldagem em aerossol pode produzir altas taxas de deposição do metal de solda. Portanto, segundo Cabral e Junior (2008), essa técnica de soldagem é geralmente empregada para unir aços de espessura 2,4 mm e maiores. Podemos observar na Figura 5, por meio de fotos sequenciais, como ocorre a transferência por spray.

Figura 5. Fotografias sequenciais da transferência Aerossol/Spray.



Fonte: FERRARESI, FIGUEIREDO e HIAP ONG, 2003

## 2.5 INSTABILIDADE DO ARCO

A melhoria no desempenho da soldagem GMAW por curto-circuito tem como requisito o alcance da estabilidade do processo que tem sido a razão do desenvolvimento de uma série de estudos. Entende-se por processo estável aquele em que é garantida tanto a estabilidade do arco elétrico quanto a da transferência metálica (PONOMAREV; SCOTTI, 2008).

Segundo Hermans e Den Ouden (1999) a instabilidade pode ser consequência de três fenômenos distintos: variações na velocidade de alimentação, reignições do arco elétrico e curtos-circuitos instantâneos (curtos-circuitos incipientes). Este último decorre do contato entre eletrodo e poça de fusão por tempo insuficiente para que ocorra a transferência metálica.

Para Kang e Rhee (2011) as irregularidades presentes nos oscilogramas de tensão e corrente refletem a presença de distúrbios no processo, mais especificamente a ocorrência de respingos. Do ponto de vista operacional, os respingos são um bom indicativo de instabilidade, consequência da extinção e reignição do arco elétrico. Momentos esses, em que a poça de fusão é submetida ao contato com o eletrodo em fusão e à ação do arco, no início e término do curto-circuito, respectivamente.

Buscando-se quantificar o grau de estabilidade da soldagem por curto-circuito, uma série de estudos vem se desenvolvendo ao longo dos anos através da análise estatística. Como a transferência por curto-circuito é um processo cíclico, as pesquisas caminham no sentido de investigar a frequência de curto-circuito e a constância e repetibilidade dos tempos de curto-circuito e de arco aberto. Consiste no objetivo dessa linha de pensamento, o cálculo do desvio padrão desses indicadores para a criação de índices estatísticos capazes de avaliar o processo (CARVALHO, 2016).

Dentre os índices existentes até então, destaca-se o chamado índice de Estabilidade. Fundamentado na periodicidade do processo, ele é capaz de avaliar a capacidade de repetição da duração dos ciclos. Para isso, são calculados o desvio padrão ( $\sigma$ ) e a média ( $\mu$ ) dos períodos de curto-circuito para obtê-lo. O índice é descrito pela seguinte equação: *Índice de Estabilidade* =  $1 - \sigma/\mu$  (CUIURI; NORRISH; COOK, 2000).

Entretanto, segundo Carvalho (2016), por se basear no desvio padrão do período como um todo, este índice apresenta certa limitação, por não considerar a divisão do ciclo em duas etapas: o tempo de curto-circuito e o de arco aberto. Dessa forma, pode-se ter variações nesses tempos de um ciclo para o outro, mas mantendo um mesmo período, enquanto o índice permaneceria inalterado, mascarando o processo. Além dos tempos já citados anteriormente, a frequência de curto-circuito também é objeto de pesquisa quando se analisa a estabilidade do processo.

A estabilidade da transferência por curto-circuito pode ser apontada pela distribuição da taxa de transferência das gotas e tem como obstáculo a natureza dos fenômenos que caracterizam o processo (MACHADO, 1996). Utiliza-se o desvio padrão da frequência de destacamento das gotas de metal líquido como medida da estabilidade do processo. Presume-se que o valor mínimo desse desvio padrão é obtido a uma determinada velocidade de alimentação, resultando na condição de máxima estabilidade.

## 2.6 CRITÉRIO LAPROSOLDA

De acordo com REZENDE et al.(2011) o critério Laprosolda visa quantificar a estabilidade de transferência por curto-circuito no processo de soldagem MIG/MAG. O critério se baseia na premissa de que a estabilidade da transferência por curto-circuito está intimamente ligada com a constância dos tempos em curto-circuito e em arco aberto, assim como um tamanho

apropriado de diâmetro de gota para que haja ação da tensão superficial na transferência. Sendo assim, o critério utiliza dois parâmetros:

1) Índice Vilarinho de Regularidade da Transferência por Curto-Circuito

Tratando de avaliação de processos de soldagem, o Índice de Regularidade Vilarinho (IV<sub>cc</sub>) é baseado na premissa de que a estabilidade do processo de transferência por curto-circuito está ligada com a constância dos tempos em curto-circuito e em arco aberto, ou seja, acredita-se que, se os tempos sofram pouca variação tanto em curto-circuito como em arco aberto, o processo está estável. Desta forma, a constância nos tempos é medida por meio do coeficiente de variação, que leva em conta não somente o desvio padrão da amostra, mas também sua média, mostrada na Equação 1:

$$IV_{cc} = \frac{\sigma_{t_{cc}}}{\bar{t}_{cc}} + \frac{\sigma_{t_{ab}}}{\bar{t}_{ab}} \quad (1)$$

Sendo,

$\sigma_{t_{cc}}$  = desvio padrão da média do tempo de curto-circuito;

$\sigma_{t_{ab}}$  = desvio padrão da média do tempo de arco aberto;

$\bar{t}_{cc}$  = média do tempo de curto-circuito

$\bar{t}_{ab}$  = média do tempo de arco aberto

2) Faixa admissível de tamanho de gota em transferência por curto-circuito

A faixa admissível de tamanho de gota,  $\Delta F_{cc}$ , define os volumes da gota em transferência a cada curto-circuito, permitindo uma passagem mais suave da mesma para a poça pelo efeito da tensão superficial (MACHADO et al., 2013). O parâmetro parte do princípio que a gota não deve crescer muito antes de se destacar, mas por outro lado deve ter um volume mínimo. Esses volumes são funções do material do arame e do gás de proteção. Medir o tamanho médio da gota não é uma tarefa fácil, mas pode-se estimar a faixa de volume adequado a partir do cálculo das frequências máximas ( $F_{ccmax}$ ) e mínimas ( $F_{ccmin}$ ) esperadas. Conforme a Equação 2.

$$F_{cc} = \frac{v_{alim} \cdot (d)^2}{(k \cdot d)^3} \quad (2)$$

Sendo,

$d$  = diâmetro do arame-eletrodo em milímetros;

$V_{\text{alim}}$  = velocidade de alimentação de arame em milímetros por segundo;

$k$  = fator de multiplicação para estimar o diâmetro da gota em função do diâmetro do arame.

Para  $F_{\text{ccmin}}$ , o  $k$  utilizado se refere a gotas de tamanho máximo e para  $F_{\text{ccmax}}$  é utilizado o  $k$  para gotas de volume mínimo. Sendo o  $k$  determinado de acordo com o material do arame e o gás de proteção utilizado e precisa ser determinado com filmagens de alta velocidade.

### 3. METODOLOGIA

Para o alcance dos objetivos propostos neste trabalho, a metodologia pode ser dividida em quatro etapas: escolha da plataforma de programação, definição do algoritmo e validação da ferramenta.

#### 3.1 ESCOLHA DA PLATAFORMA DE PROGRAMAÇÃO

O objetivo da ferramenta é auxiliar nas análises feitas em laboratório dos sinais de solda, através da visualização dos dados, cálculo das variáveis (Frequência de solda, IVcc e números de curtos-circuitos incipientes) sendo calculados para todo sinal e de forma dinâmica, com curtos incipientes e sem curtos incipientes.

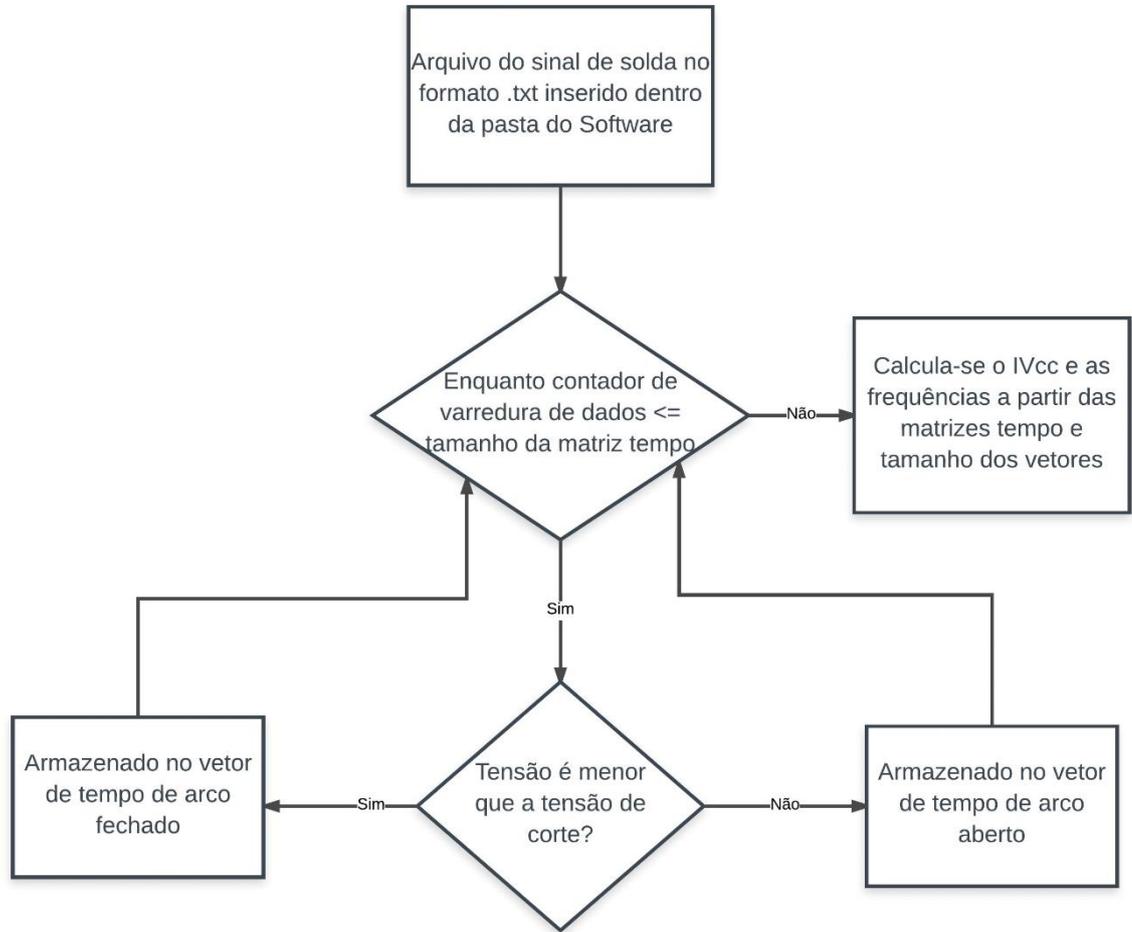
Para isso foi utilizada a ferramenta gratuita Processing, uma ferramenta gráfica, muito similar e inspirada no software utilizado no Arduino e que permite uma fácil comunicação serial. Atendendo todos os requisitos necessários para a criação da atual ferramenta a ainda possuindo vários fatores que contribuem para a futura criação de um produto portátil de análise do sinal de solda em tempo real.

#### 3.2 DEFINIÇÃO DO ALGORITMO

Foram definidas 5 variáveis que deveriam constar na ferramenta criada, sendo eles: IVcc (considerando curtos-circuitos incipientes), IVcc sem curtos-circuitos incipientes, número de curtos-circuitos incipientes, frequência de curto-circuito (considerando curtos-circuitos incipientes) e frequência sem curtos-circuitos incipientes. Para todas essas variáveis o cálculo seria realizado para todo o sinal de solda (variáveis totais) e para o sinal visível na tela (variáveis dinâmicas).

Para as variáveis que não faziam nenhuma consideração em relação aos curtos-circuitos incipientes (IVcc e frequência), foi utilizada a metodologia indicada na Figura 6.

Figura 6: Fluxograma para variáveis com curtos-circuitos incipientes

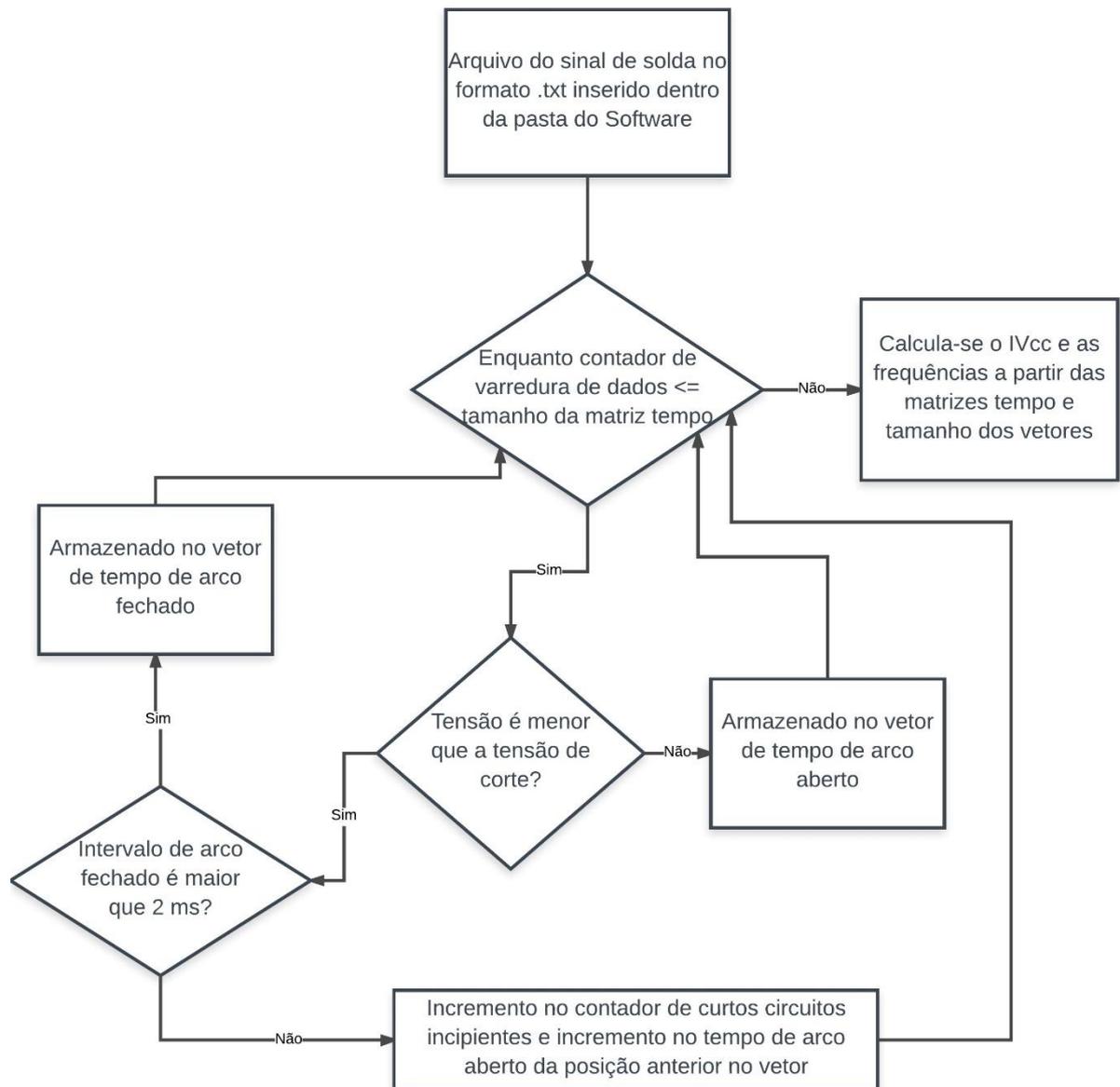


Fonte: Autor

Com o vetor de tempos de arco aberto e vetor de tempos em arco fechado podemos calcular o IVcc (Total e dinâmico) e a frequência (Total e dinâmica).

Para as variáveis que fazem consideração aos curtos-circuitos incipientes (Número de curtos-circuitos incipientes, IVcc sem curto-circuito incipiente e frequência de curto-circuito sem curtos-circuitos incipientes), foi utilizado uma metodologia diferente, representada na Figura 7.

Figura 7: Fluxograma para variáveis sem curtos-circuitos incipientes



Fonte: Autor

Essa metodologia considera o tempo dos curtos-circuitos incipientes como arco aberto, visto que não há transferência metálica. De posse dos vetores de tempo em arco aberto e tempo em arco fechado é possível calcular o IVcc sem curtos incipientes (Total e Dinâmico), o número de curtos-circuitos incipientes foi armazenado em um contador e a frequência sem curtos-circuitos incipientes é calculada a partir do tamanho do vetor de tempos de arco fechado menos o número de curtos-circuitos incipientes divididos pelo tempo do sinal.

### 3.3 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

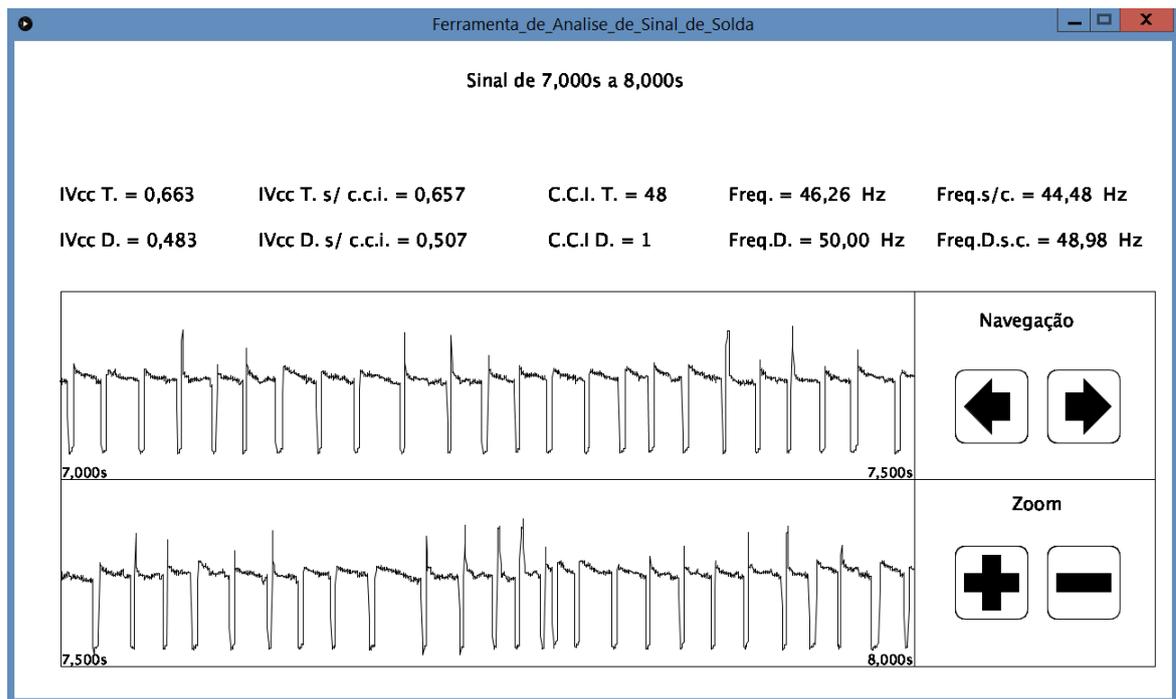
A validação dos resultados foi feita durante toda a criação da ferramenta, utilizando os sinais de solda utilizados no trabalho de Cordeiro (2017). Os cálculos foram feitos tanto na ferramenta como no software Excel, para se ter certeza de que não houve erro na programação da ferramenta. Por fim, também foi feita uma comparação com alguns dos resultados obtidos por Cordeiro (2017) com os fornecidos pela ferramenta.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 4.1 APRESENTAÇÃO DA FERRAMENTA

A figura 8 apresenta a visão da ferramenta, onde pode-se visualizar parte do sinal analisado, todas as variáveis calculadas e os botões laterais, responsáveis por alterar a parte do sinal visível de onde são calculadas as variáveis dinâmicas.

Figura 8: Visão geral da ferramenta



Fonte: Autor

A figura 9 mostra todas as variáveis calculadas pela ferramenta, sendo as da fileira de cima referentes a todo sinal de solda (variáveis totais) e as da fileira de baixo referentes somente ao sinal visível na ferramenta (variáveis dinâmicas).

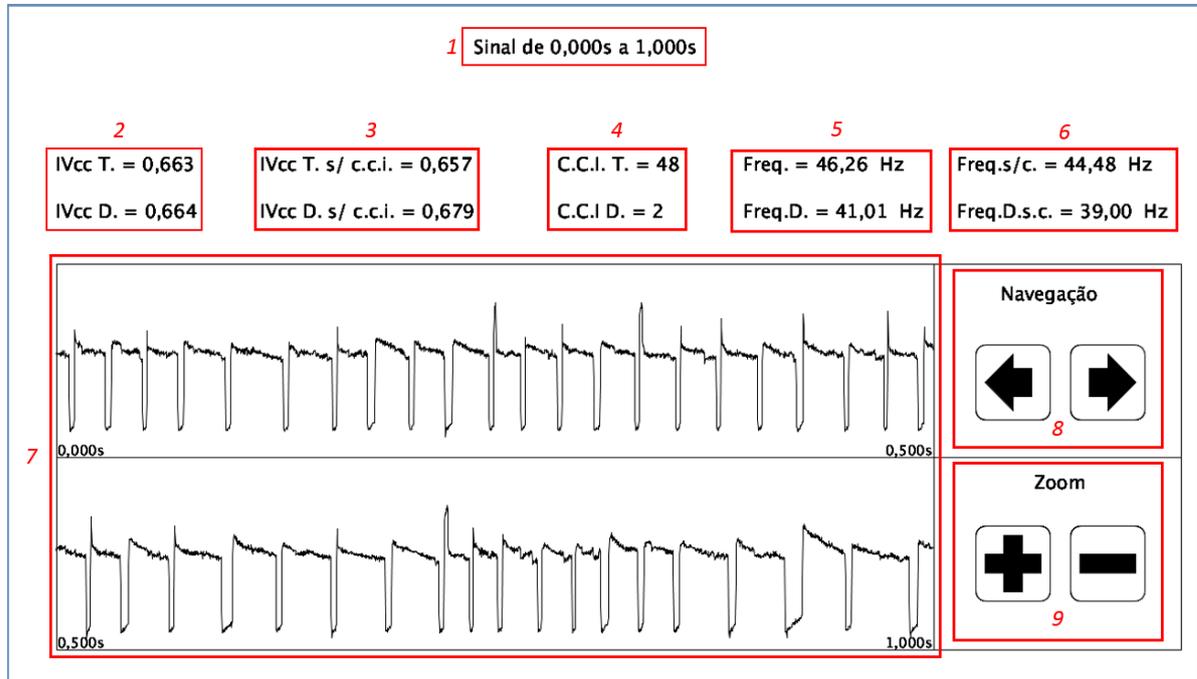
Figura 9: Visualização das variáveis totais e dinâmicas

IVcc T. = 0,663	IVcc T. s/ c.c.i. = 0,657	C.C.I. T. = 48	Freq. = 46,26 Hz	Freq.s/c. = 44,48 Hz
IVcc D. = 0,483	IVcc D. s/ c.c.i. = 0,507	C.C.I. D. = 1	Freq.D. = 50,00 Hz	Freq.D.s.c. = 48,98 Hz

Fonte: Autor

Para facilitar o entendimento da ferramenta, a mesma foi dividida e enumerada conforme a figura 10.

Figura 10: Visão geral da ferramenta segmentada



Fonte: Autor

Os objetivos de cada uma das seções separadas acima estão especificados a seguir:

- 1- Intervalo de tempo do sinal onde as variáveis dinâmicas são calculadas.
- 2- Índices Vilarinho de Regularidade da Transferência por Curto-Circuito, tanto o total (IVcc T.) quanto o dinâmico (IVcc D.).
- 3- IVcc's desconsiderando os curtos-circuitos incipientes, tanto o IVcc total (IVcc T. s/ c.c.i.) como o IVcc dinâmico (IVcc D. s/ c.c.i.).
- 4- Número de curtos-circuitos incipientes que existem em todo o sinal (C.C.I. T.) ou apenas no sinal visível na seção 7 (C.C.I. D.).
- 5- A frequência de curto-circuito de todo sinal (Freq.) e também a frequência dinâmica, visível na seção 7 (Freq. D.).
- 6- A frequência desconsiderando os curtos-circuitos incipientes em todo o sinal (Freq. s/ c.) ou somente no sinal visível na seção 7 (Freq. D. s.c.).
- 7- Apresenta o oscilograma de tensão por tempo no período de sinal descrito na seção 1, sendo metade desse sinal apresentado na parte superior e metade na parte inferior.

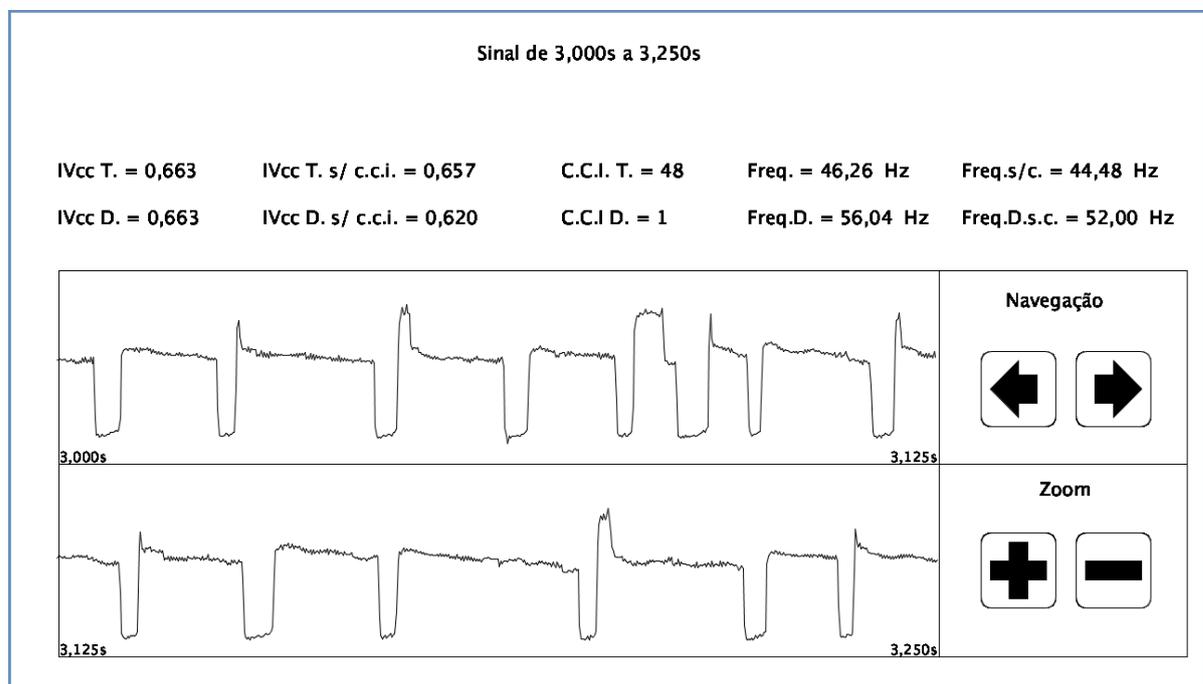
Pode-se observar também indicações do tempo do início e fim do sinal do sinal na parte inferior de ambas as partes.

- 8- Dois botões responsáveis pela navegação no sinal de soldagem. A seta para esquerda desloca o sinal em metade do que é visualizado para trás e a seta para direita desloca o sinal em metade do que é visualizado para frente.

Ex: No caso da figura 10, um clique na seta para direita faria com que o sinal mostrado passasse de 0,0s a 1,0s para 0,5s a 1,5s. Já a seta para esquerda não surtiria efeito já que o começo do sinal já se encontra em 0,0 segundos.

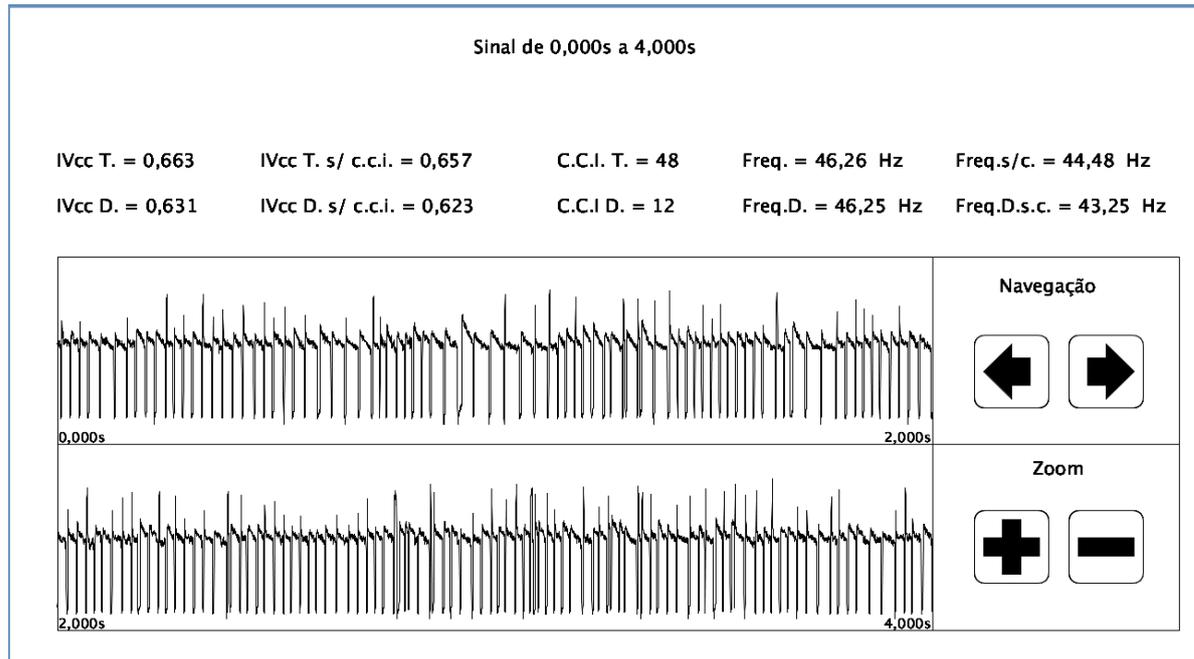
- 9- Dois botões responsáveis por controlar o tamanho do intervalo de tempo visualizado. Por padrão o sinal mostrado é referente a 1 segundo de sinal, mas com o auxílio dos dois botões presentes podemos aumentar ou diminuir em até 4 vezes essa visualização. Para cada clique no botão com sinal de “+” diminui-se em 2 vezes o intervalo do sinal mostrado e cada clique no botão de sinal de “-” aumenta-se em 2 vezes o mesmo. Sendo assim, é possível visualizar de 0,25 segundos (Figura 11) até 4 segundos de sinal (figura 12).

Figura 11: Visão da ferramenta no zoom máximo



Fonte: Autor

Figura 12: Visão da ferramenta no zoom mínimo



Fonte: Autor

#### 4.2 VALIDAÇÃO DA FERRAMENTA

Para a validação da ferramenta foram utilizados os dados relativos ao trabalho de Cordeiro (2017), neste foram soldadas diversas chapas, realizando apenas um passe por chapa para diferentes tipos de gases de proteção com diferentes vazões. Para a validação do algoritmo utilizaremos apenas os dados referentes a soldagem com o Argônio puro como gás de proteção e assim como foi feito por Cordeiro (2017), será analisado somente de 3s a 30s do sinal para eliminarmos as instabilidades no processo de soldagem por curto-circuito nos tempos iniciais e finais de cada cordão de solda. Segue abaixo a Tabela 3, referente aos dados encontrados por Cordeiro (2017).

Tabela 3: Frequências de curto-circuito com e sem curtos incipientes<sup>1</sup>

Vazão (L/min)	Freq. c/ incipiente (Hz)	Freq. s/ incipiente (Hz)	delta
4	46,27	44,63	-3,5%
8	39,2	38,4	-2,0%
10	33,09	32,71	-1,1%
10b	31,62	31,45	-0,5%
16	37,27	36,55	-1,9%
22	36,06	35,56	-1,4%

Fonte: Cordeiro, 2017

Quando analisado pela ferramenta criada neste trabalho, usando como base os mesmos sinais de Cordeiro (2017), chegamos as frequências obtidas na Tabela 4.

Tabela 4: Frequências de curto-circuito com e sem curtos incipientes

<b>Vazão (L/min)</b>	<b>Freq. c/ incipiente (Hz)</b>	<b>Freq. s/ incipiente (Hz)</b>	<b>delta</b>
4	46,26	44,48	-3,8%
8	39,19	38,33	-2,2%
10	33,07	32,67	-1,2%
10b	31,59	31,41	-0,6%
316	37,26	36,48	-2,1%
22	36,07	35,52	-1,5%

Fonte: Autor

Com base nas tabelas 3 e 4, foi criada a tabela 5 para que fossem comparados os dois métodos de cálculo.

Tabela 5: Diferença entre o resultado obtido e o trabalho de Cordeiro

<b>Vazão (L/min)</b>	<b>Diferença (com incipiente)</b>	<b>Diferença (sem incipiente)</b>
4	-0,02%	-0,34%
8	-0,03%	-0,18%
10	-0,06%	-0,12%
10b	-0,09%	-0,13%
16	-0,03%	-0,19%
22	0,03%	-0,11%

Fonte: Autor

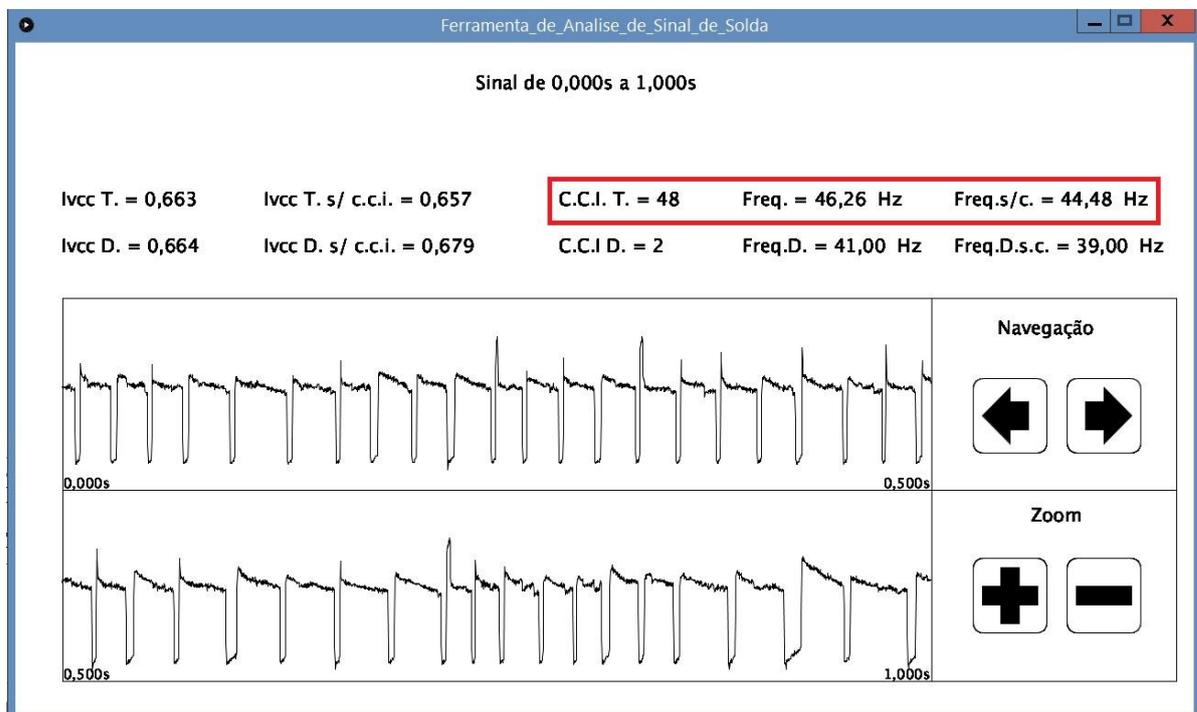
A maior diferença foi encontrada na frequência sem curtos-circuitos incipientes para a vazão de 4 litros, onde se teve uma diferença de 0,34%, nada que prejudique nenhum tipo de análise com relação a qualidade da solda, mas como houve alguma diferença também foi feita a validação pelo software Excel.

Na conferência pelo Excel foram obtidos 1249 curtos-circuitos no período do sinal e 48 curtos-circuitos incipientes. Ao dividirmos o número de curtos-circuitos por 27 segundos encontramos 46,26 Hz e ao dividirmos o número de curtos-circuitos menos o número de curtos-circuitos incipientes pelos 27 segundos de sinal chegamos a 44,48 Hz, resultando exatamente nas frequências encontradas pela ferramenta criada.

O fato da diferença nas frequências de curto-circuito sem incipientes ser maior se deve ao fato de Cordeiro (2017) retirar os curtos incipientes do tempo total e este trabalho não os retirar. Mesmo os curtos-circuitos incipientes sendo pequenos, menores que 2 milissegundos, eles geram uma pequena diferença na frequência.

A figura 13 demonstra a tela da ferramenta quando alimentada pelo sinal de solda com o gás de proteção Argônio a 4 L/min, retornando todos os valores utilizados nessa análise, tanto os 48 curtos-circuitos incipientes, como os valores de frequência relatados na Tabela 4.

Figura 13: Tela da ferramenta para solda utilizando Argônio em 4 L/min



Fonte: Autor

A mesma validação não foi possível para o IVcc, visto que o trabalho de Cordeiro (2017) não apresenta esses valores em tabelas, somente em gráficos, não sendo suficientes para a validação. Porém, a validação foi feita pelo Excel durante a programação da ferramenta, para que se tivesse certeza de que o algoritmo estaria refletindo o cálculo desejado.

### 4.3 DISCUSSÕES

#### 4.3.1 Imprecisão nos dados

O relatório gerado pelo sistema de aquisição de dados retorna na primeira coluna o tempo desde o começo da aquisição e na segunda coluna a tensão da soldagem como podemos observar na Figura 14. Sendo feita uma aquisição a cada 0,2 milissegundos.

Figura 14: Relatório do equipamento de aquisição de dados<sup>1</sup>

Tempo (s)	Voltagem (V)
0,0000E+00	1,5629E+01
2,0000E-04	1,6220E+01
4,0000E-04	1,6421E+01
6,0000E-04	1,5827E+01
8,0000E-04	1,5827E+01
1,0000E-03	1,6025E+01
1,2000E-03	1,6421E+01
1,4000E-03	1,6025E+01
1,6000E-03	1,6025E+01
1,8000E-03	1,5824E+01
2,0000E-03	1,6618E+01
2,2000E-03	1,6816E+01
2,4000E-03	1,6025E+01
2,6000E-03	1,6421E+01

Fonte: Autor

Porém, ao passarmos de 10 segundos de soldagem, o relatório perde uma casa de precisão, não retornando mais mudanças na ordem de  $10^{-4}$  segundos. Sendo assim, no relatório temos a impressão de 5 aquisições seguidas com o mesmo intervalo de tempo como podemos ver na Figura 15.

Figura 15: Relatório do equipamento de aquisição de dados<sup>2</sup>

Tempo (s)	Voltagem (V)
1,0467E+01	3,3684E+00
1,0467E+01	3,3684E+00
1,0467E+01	1,9387E+01
1,0467E+01	2,5122E+01
1,0467E+01	2,1167E+01
1,0468E+01	2,0969E+01
1,0468E+01	2,0573E+01
1,0468E+01	2,0376E+01
1,0468E+01	2,1167E+01
1,0468E+01	2,0178E+01
1,0469E+01	2,0969E+01
1,0469E+01	2,0771E+01
1,0469E+01	2,0771E+01
1,0469E+01	2,0771E+01
1,0469E+01	1,9983E+01

Fonte: Autor

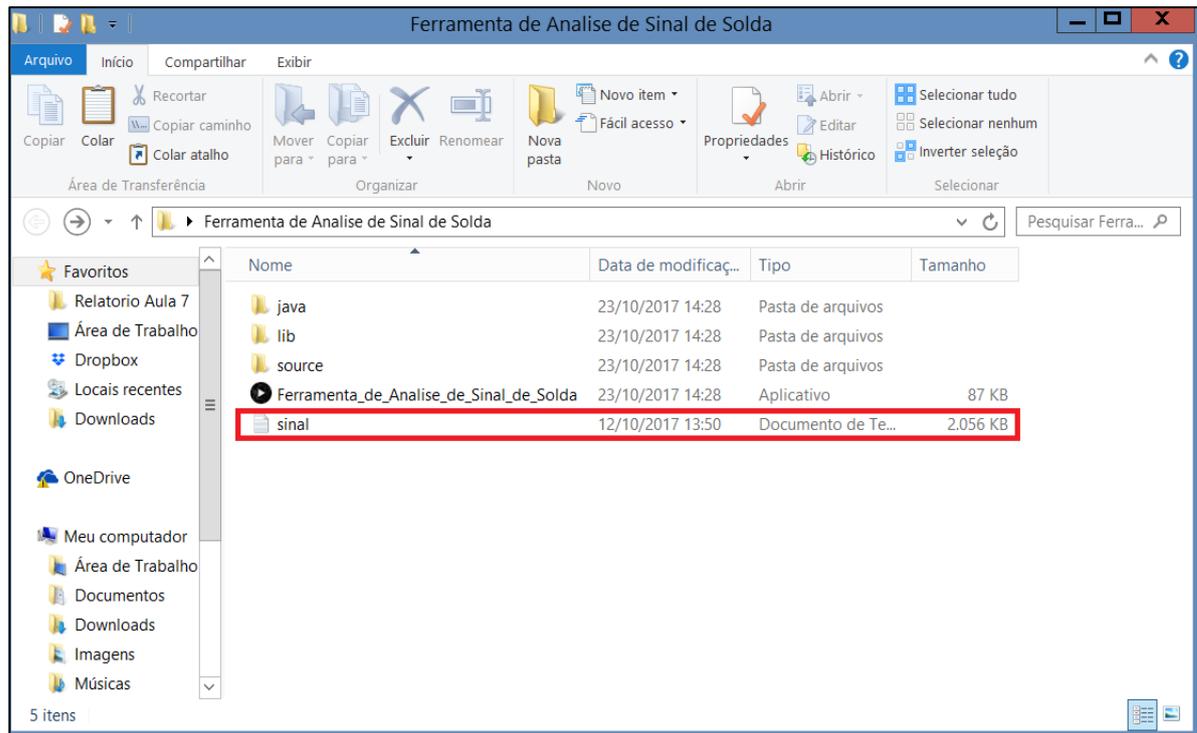
Por esse motivo, não se pode subtrair o tempo inicial do tempo final para encontrar os intervalos de tempo de arco-aberto e intervalos de tempo de arco fechado, pelo fato do software ler 5 intervalos de tempos iguais e gerar diversos erros, como intervalos com tempo igual a 0.

A maneira encontrada para contornar esse problema foi inserir um contador para esses intervalos e depois multiplica-los por 0,2 milissegundos, já que a aquisição de dados é feita nesse intervalo de tempo. Isso resolve completamente esse obstáculo, mas limita o software utilizado para aquisições de dados feitas de 2 em 2 ms.

#### 4.3.2 Entrada de dados

A ferramenta se encontra dentro de uma pasta chamada “Ferramenta de Analise de Sinal de Solda”, onde todas as bibliotecas e extensões que a plataforma JAVA precisa para que a mesma funcione. Para que a mesma leia o sinal de solda é necessário que o arquivo com o sinal de solda seja copiado para dentro da pasta com o formato .txt e com o nome “sinal”, conforme a figura 16.

Figura 16: Arquivo com o sinal de solda dentro da pasta da ferramenta



Fonte: Autor

Por padrão a ferramenta lê os valores com a separação de decimais com ponto. Caso a separação esteja sendo feita com vírgula, é necessário substituir as vírgulas por pontos. O próprio bloco de notas oferece essa opção de substituir, ao pressionar Ctrl + H é possível localizar todas as vírgulas e substituí-las por pontos.

## 5. CONCLUSÃO

### 5.1 CONCLUSÕES

Foi criada uma ferramenta para análise da estabilidade de soldas MIG/MAG com transferência por curto-circuito. A mesma se mostrou eficaz no cálculo de todos os indicadores propostos:  $IV_{cc}$ ,  $IV_{cc}$  sem curtos incipientes, número de curtos incipientes, frequência de curto-circuito e frequência sem curtos incipientes.

Se mostrou também uma ótima ferramenta para visualização de oscilogramas de tensão do sinal de solda, podendo auxiliar em trabalhos futuros, análises em laboratório e sendo um avanço para a criação de um monitor de qualidade de solda MIG/MAG por curto-circuito sem fio.

### 5.2 TRABALHOS FUTUROS

A transferência desse algoritmo para uma plataforma portátil como o Arduino ou o Raspberry Pi, fazendo a mudança da entrada de dados de arquivo de texto para comunicação serial, tornando assim possível uma ferramenta de análise de qualidade de solda em tempo real.

Correlacionar defeitos de solda com altos valores de  $IV_{cc}$ , curtos-circuitos incipientes ou perturbações no sinal de solda, utilizando a ferramenta deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

AWS, WELDING HANDBOOK. **Welding Science And Technology**. 9 ed, v.1, 2001.

CABRAL, T. dos S.; JUNIOR, L. P. da S. C. **Especificação de procedimentos de soldagem MIG para o preenchimento de cavidades pela técnica de camadas sucessivas**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Pará, Belém, Brasil, 2008.

CARVALHO, M. V. G. de. **Estudo da estabilidade do arco GMAW-CC através do critério Laprosolda**. 2016. 47 f. TCC (Graduação) - Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2016.

CORDEIRO, G. **Um algoritmo para cálculo da frequência de curto-circuito com e sem curtos incipientes**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2017.

CUIURI, D.; NORRISH, J.; COOK, C. D. **Droplet Size Regulation in the Short Circuit GMAW Process using a Controlled Current Waveform**. Proceedings Gas Metal Arc Welding for the 21st Century, p. 173-185, 2000.

EN ISO 14175 (2008) **Welding consumable - Gases and gas mixtures for fusion welding and allied processes**. EN ISO.

FORTES, C. **Soldagem MIG/MAG**, Catálogo de Soldagem. ESAB, Janeiro/2005 Disponível em: <<http://www.esab.com.br>>. Acesso em: jun. de 2017.

FERRARESI, V. A.; FIGUEIREDO, K. M.; HIAP ONG, T. **Metal Transfer in the Aluminum Gas Metal Arc Welding**. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering, v. 25, n. 3, 2003.

GOMES, E. B. **Análise do Comportamento da Soldagem por Curto-Circuito aplicado ao Processo Eletrodo Tubular através da Metodologia Taguchi**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil, 2006.

HERMANS, M. J. M.; DEN OUDEN, G. **Process Behavior and Stability in Short Circuit Gas Metal Arc Welding**. Welding Journal. Welding Research Supplement, v. 78, n. 4, p. 137-141, abr. 1999.

KANG, M. J.; RHEE, S. **The Statistical Models for Estimating the Amount of Spatter in the Short Circuit Transfer Mode of GMAW.** Welding Journal, January, p. 1s-8s, jan. 2001.

KHAN, I. M. **Welding Science and Technology.** 1 ed. New Delhi : New Age International, 2007.

MACHADO M. V. R.; MOTA C. P.; NETO R. M. F.; VILARINHO L. O., **Determinação Do Índice De Regularidade Da Transferência Metálica Por Curto-Circuito Via Monitoramento Sonoro,** 7º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA DE FABRICAÇÃO, 2013.

MORGANTI, M. P. de S. **Estudo de influência do espaçamento entre chapas e do posicionamento do ataque do arame no processo robotizado de soldagem MIG/MAG de junta sobreposta para arame de 1,2 mm.** Monografia (Pós-graduação em Engenharia de Soldagem). Centro Universitário do Instituto do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, Brasil, 2013.

MVOLA, B.; KAH, P. **Effects of shielding gas control: welded joint properties in GMAW process optimization.** The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Londres, 2016.

OKUMURA T.; TANIGUCHI C. **Engenharia de soldagem e aplicações.** 1 ed: São Paulo: LTC; 1982.

REZENDE G. M. C.; LISKÉVYCH O.; VILARINHO L. O.; SCOTTI A., **Um Critério para Determinar a Regulagem da Tensão em Soldagem MIG/MAG por Curto-Circuito,** Soldag. insp. São Paulo, Vol.16, No. 2, p.098-103, Abr/Jun 2011.

SCHIO, F. **Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada.** Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, Brasil, 2013.

SOUZA, D.; RESENDE, A.A.; SCOTTI, A. **Um Modelo Qualitativo para Explicar a Influência da Polaridade na Taxa de Fusão no Processo MIG/MAG.** Soldagem Insp. v. 14, n.3, p. 192-198, São Paulo, 2009.

SUBAN, M.; TUSEK, J. **Dependence of melting rate in MIG/MAG welding on the type of shielding gas used.** Journal of Materials Processing Technology, v. 119, n. 1, p. 185-192, Ljubljana, 2001.

SUBRAMANIAN, S.; WHITE, D.R.; JONES, J.E.; LYONS, D.W. **Droplet Transfer in Pulsed Gas Metal Arc Welding of Aluminum.** Welding Journal, 1998.

UTTRACHI, G. D.; MEYER, D.W., **The Basic of Semiautomatic Welding.** Welding Journal, 1993.

## ANEXO 1 – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA  
FACULDADE DE ENGENHARIA

### **Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria**

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria e não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, audiovisual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral<sup>1</sup> e criminais previstas no Código Penal<sup>2</sup>, além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, 7 de Novembro de 2017.

---

Vinicius da Silva Duarte

---

<sup>1</sup> LEI Nº 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

<sup>2</sup> Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano ou multa.